

Studi Kerentanan Banjir Sub DAS Pucang di DAS Brantas

Arfita Rahmawati

Mahasiswa S1 Pendidikan Geografi, k4waih.him3@gmail.com

Drs. Suharsono

Dosen Pembimbing Mahasiswa

Abstrak

Kabupaten Sidoarjo dibagi menjadi beberapa sub DAS diantaranya sub DAS Buntung, Jomblang, Buduran, Pucang, Kedungguling, dan Ketapang. Dari beberapa sub DAS tersebut, sub DAS Pucang merupakan sub DAS dengan genangan paling luas, paling tinggi, dan lama. Di tahun 2010-2012 rata-rata luasan banjir di Sub DAS Pucang mencapai 1720 hektar dengan ketinggian rata-rata 35,88 cm dan lama genangan rata-rata 32,29 jam. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui tingkat kerentanan banjir di Sub DAS Pucang, dinilai dari aspek kemiringan lereng, intensitas curah hujan, drainase, bentuk lahan, penggunaan lahan, tekstur tanah, tinggi genangan, dan lama genangan. Kemudian dilakukan *overlay* dan diskoring untuk menghasilkan satuan unit lahan berdasar dari tingkat kerentanan terhadap banjir. Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mengetahui tingkat kerentanan banjir di Sub DAS Pucang. Jenis penelitian ini adalah penelitian studi kasus karena kejadian ini berdasarkan untuk memahami masalah yang sedang terjadi untuk menambah pemahaman apa yang sudah diketahui melalui penelitian sebelumnya. Pendekatan penelitian ini adalah kuantitatif, lokasi penelitian menggunakan seluruh wilayah Sub DAS Pucang, subyek penelitian dilakukan dengan menggunakan sampling jenuh yaitu seluruh populasi merupakan sampel. Berdasarkan analisis *overlay* yang kemudian diskoring, diperoleh hasil 3 kelas tingkat kerentanan yaitu kerentanan sangat tinggi, kerentanan tinggi, dan kerentanan sedang. Dengan persentase kerentanan sangat tinggi 6,57%, kerentanan tinggi 56,8%, dan kerentanan sedang 36,63%. Mengingat besarnya kelas kerentanan banjir yang tinggi, perlu upaya penanggulangan banjir di Sub DAS Pucang lebih ditingkatkan lagi terutama yaitu dapat dilakukan untuk peningkatan kapasitas eksiting serta perawatan drainase yang lebih diperhatikan lagi.

Abstract

Sidoarjo divided into several sub-division das are sub-division das stump, jomblang, buduran, pucang, kedungguling, and ketapang. Of several sub-division da, the sub-division das pucang it has das with puddles most extensive, at the best, and far. In the 2010-2012 period average space flood in sub-division das pucang reached 1720 hectares with an average height of 35,88 centimeters and long puddle average 32,29 hours. This research intended to determine the level susceptibility flood in sub-division das pucang, rated of aspect slope, rainfall, drainage, land forms, the use of land, soil texture, high puddle, and long puddle. Then will be overlay and scoring to produce units land based from the susceptibility to flood. Next done calculations determine the level of susceptibility flood in sub-division das pucang. Type this research is research case study because this incident based on to understand a problem going to add understanding what already known through research before. The approach of this research is quantitative, the research using the whole region wro the watershed pucang, the subject of research is done using that is the whole population of sampling saturates is a sample. By virtue of analysis overlay which are then diskoring, obtained the result of 3 class of susceptibility susceptibility level is very high, susceptibility of high, and the susceptibility of being. With the percentage of susceptibility very high 6.57 %, susceptibility high 56,8 %, and vulnerability being 36,63 %. Considering immensity class susceptibility flood a high need efforts to combat flood in sub-division das pucang be improved especially namely to take to capacity improvement eksiting, maintenance drainage more reck again.

Keywords: *slope, the intensity of the rainfall, drainage, land forms, land use, soil texture, high puddle, long puddle, the level of vulnerability, and mitigation efforts.*

PENDAHULUAN

Banjir menjadi masalah yang terjadi dimana-mana karena minimnya perencanaan kota. Perencanaan kota yang tidak memperhatikan drainase secara baik. Termasuk di Kabupaten Sidoarjo. Kejadian banjir di Kabupaten Sidoarjo menempati urutan bencana alam terbesar pertama (BPBD Sidoarjo, 2012). Berikut disajikan tabel bencana alam di Kabupaten Sidoarjo dalam kurun waktu 4 tahun.

Tabel 1 Bencana Alam di Kabupaten Sidoarjo Tahun 2009-2012

Jenis	Jumlah Kejadian	Korban Jiwa			Kerusakan		
		Me ning gal	Luka - Luka	Hila ng	Kerusa kan Jalan	Kerusak an Lahan (ha)	Keru saka n Lain
Banjir	22	0	0	0	8	1044	0
Puting Beliung	20	0	12	0	0	0	2

Sumber: BPBD Jawa Timur Th.2012 yang diolah

Berdasar tabel di atas diketahui bahwa bencana alam yang terjadi di Kabupaten Sidoarjo ada 2 yaitu banjir dan puting beliung. Dalam hal ini bencana banjir memiliki jumlah kejadian tertinggi dengan 22 kejadian dan menyebabkan kerusakan lahan 1044 ha dan 8 ruas kerusakan jalan. Tentunya hal ini memberikan masalah bagi pembangunan Kabupaten Sidoarjo.

Salah satu masalah tersebut adalah banjir. Menurut Suripin (2004), banjir adalah suatu kondisi dimana tidak tertampungnya air dalam saluran pembuang (kali) atau terhambatnya aliran air di dalam saluran pembuang. Banjir selalu menggenangi sejumlah kawasan pusat kota di Sidoarjo dan lebih parah dari tahun sebelumnya. Menurut data dari Dinas PU Pengairan Kabupaten Sidoarjo berdasarkan kejadian banjir yang terjadi di beberapa sub DAS yang ada, menunjukkan bahwa di tahun 2010 - 2012 terdapat enam sub DAS yang mengalami kejadian banjir dengan luas, tinggi dan waktu yang berbeda-beda. Sub DAS tersebut dapat dilihat dalam tabel 2 di bawah ini :

Tabel 2 Rata-Rata Luas, Tinggi, dan Waktu Genangan Banjir Tahun 2010-2012 di Kabupaten Sidoarjo

Sub DAS	Luas Genangan (ha)	Rata-Rata Tinggi Genangan (cm)	Rata-Rata Lama Genangan (jam)
Buntung	176	30,2	27,45
Jomblang	1278	32	29
Buduran	245	30	27,28
Pucang	1720	35,88	32,29
Kedungguling	1398	32,45	28
Ketapang	186	24,78	25

Sumber: Data sekunder Dinas PU Pengairan Kab.Sidoarjo Th. 2012 yang diolah

Berdasar dari table 2 yang berisi tentang luas, tinggi, dan waktu banjir di Kabupaten Sidoarjo.

Dengan nilai luas, tinggi, dan waktu banjir yang lebih besar di dibandingkan dengan sub DAS lainnya, sub DAS Pucang memiliki nilai lebih tinggi dalam hal luas, tinggi, dan waktu terjadinya banjir, dengan jumlah luasan 1720 ha dimana lama genangan rata-rata selama 35,29 jam dengan ketinggian rata-rata 35,88 cm. Maka penelitian dilakukan di sub Das Pucang.

Ada 16 desa yang masuk di wilayah sub DAS Pucang dengan kesuluruh desa tersebut pada tahun 2012 pernah mengalami banjir. Data mengenai waktu, tinggi, dan luas banjir yang terjadi di desa tersebut dapat dilihat pada tabel di bawah ini .:

Tabel 3 Waktu, Ketinggia, dan Luas Banjir di Sub DAS Pucang Tahun 2012

Lokasi		Waktu Genangan (jam)	Ketinggian (cm)	Luas Genangan (Ha)
Kecamatan	Desa			
Sidoarjo	Sidokare	48	35	175
	Lebo	48	70	110
	Sepande	48	30	102
	Sekardangan	48	50	135
	Bulu Sidokare	48	30	108
	Bluru	48	30	125
	Pucang	48	30	177
	Kemiri	24	30	150
	Urangagung	24	30	40
	Rangkah	24	30	203
Wonoayu	Popoh	24	30	48
	Simoanginangin	24	30	45
	Pagerngumbuk	24	40	97
	Mulyodadi	24	30	47
	Wonoayu	24	30	73
	Karangpuri	24	30	84
Jumlah		552	555	1719

Sumber: Data primer tahun 2012 yang diolah

Berdasar tabel 3 diketahui bahwa Desa Rangkah di sub DAS Pucang merupakan desa yang wilayahnya paling luas terkena banjir dengan jumlah luasan 203 ha dimana waktu berlangsungnya banjir rata-rata selama 24 jam dengan ketinggian rata-rata 30 cm. Sementara desa dengan ketinggian banjir paling tinggi berada di Desa Lebo dengan tinggi banjir 70 cm.

Berdasarkan pengolahan citra aster gdem didapatkan bahwa Sub DAS Pucang memiliki luas 10.390 ha. Sedangkan luasan banjir di sub DAS Pucang seluas 1720 ha dapat dilihat bahwa 16,5% bagian dari sub das Pucang mengalami banjir. Berdasar tabel 3 pula diketahui bahwa paling banyak desa yang terkena banjir berada di Kecamatan Sidoarjo, dalam hal ini Kecamatan Sidoarjo merupakan pusat kota dari Kabupaten Sidoarjo. Tentunya dengan adanya kejadian banjir ini memberikan dampak bagi kehidupan di Kecamatan Sidoarjo. Selain itu karena belum banyak penelitian yang mengkaji tentang banjir yang terjadi di Kabupaten Sidoarjo. Atas latar belakang inilah peneliti bertujuan untuk meneliti tentang Studi Kerentanan Banjir Sub DAS Pucang di DAS Brantas.

METODE PENELITIAN

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian studi kasus, yakni salah satu metode yang unggul untuk membawa kita untuk memahami masalah yang kompleks dan dapat menambah pemahaman apa yang sudah diketahui melalui penelitian sebelumnya (*case study research is one method that excels at bringing us to an understanding of a complex issue and can add strength to what is already known through previous research*) (Dooley, 2005, 335). dengan menggunakan pendekatan kuantitatif, Kasiram (2008: 149) dalam bukunya Metodologi Penelitian Kualitatif dan Kuantitatif, mendefinisikan penelitian kuantitatif adalah suatu proses menemukan pengetahuan yang menggunakan data berupa angka sebagai alat menganalisis keterangan mengenai apa yang ingin diketahui.

Populasi adalah himpunan individu atau objek yang banyaknya terbatas, atau tidak terbatas. (Pabundu Tika, 2005 : 24). Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh wilayah banjir di Sub DAS Pucang. Di dalam penelitian ini menggunakan sampling jenuh dimana semua anggota populasi digunakan sebagai sampel. Menurut Sugiyono (2001: 61), sampling jenuh adalah teknik penentuan sampel bila semua anggota populasi digunakan sebagai sampel. Hal ini sering dilakukan bila jumlah populasi relatif kecil, kurang dari 30. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu seluruh wilayah banjir di Sub DAS Pucang.

Data penelitian yang dikumpulkan menggunakan observasi berupa observasi ini dimaksudkan untuk melihat secara langsung keadaan drainase, waktu, tinggi, luasan banjir, dan penggunaan lahan. Dokumentasi dilakukan untuk mendapatkan data lengkap dari hasil observasi. Adapun data-data yang dikumpulkan adalah data yang berasal dari Dinas PU Pengairan Kabupaten Sidoarjo, Dinas PU Cipta Karya Kabupaten Sidoarjo, dan BMG Karang Ploso Malang. Dengan teknik ini dimaksudkan untuk memperoleh data tentang kejadian banjir dan intensitas hujan. Metode studi pustaka, yaitu dengan mempelajari dan mengutip literatur yang berkaitan dengan masalah tata drainase, intensitas hujan, kemiringan lereng, penggunaan lahan, dan morfo lahan yang berkaitan dengan kejadian banjir. Teknik pengukuran untuk mengukur kedalaman, lebar, dan tinggi saluran drainase serta pengeplotan stasiun hujan, dan pengukuran persentase tekstur tanah. Untuk perhitungan persentase faktor yang diduga sebagai penyebab dari masing-masing kelas kerentanan menggunakan perhitungan jumlah unit nilai tertinggi tiap-tiap variabel pada skoring overlay kemudian dibagi dengan jumlah unit nilai tertinggi seluruh variabel pada skoring overlay kemudian dibagi seratus persen. Teknik analisis data dengan hasil menggunakan *scoring* terdapat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4 Pembagian Kelas, Skoring, dan Masing-Masing Parameter Banjir

no	Parameter	Klasifikasi	Kategori	Skor
1	Kemiringan Lereng (%)	>20	Sangat rendah	1
		14 – 20	Rendah	2
		8 - 13	Sedang	3
		3 - 7	Tinggi	4
		0 – 2	Sangat tinggi	5
2	Intensitas Curah Hujan (mm/harian)	< 13,5	Sangat rendah	1
		13,6 – 20,6	Rendah	2
		20,7 – 27,6	Sedang	3
		27,7 – 38,7	Tinggi	4
		>38,8	Sangat tinggi	5
3	Kapasitas Drainase	Sangat memadai	Sangat rendah	1
		Memadai	Rendah	2
		Agak memadai	Sedang	3
		Tidak memadai	Tinggi	4
		Sangat tidak memadai	Sangat tinggi	5
4	Bentuk lahan	Pegunungan, perbukitan	Sangat rendah	1
		Kipas dan lahar	Rendah	2
		Dataran Teras	Sedang	3
		Dataran teras (lereng <2%)	Tinggi	4
		Dataran aluvial, lembah aluvial, jalur kelokan	Sangat tinggi	5
5	Penggunaan Lahan	Hutan	Sangat rendah	1
		Perkebunan	Rendah	2
		Semak belukar, pemukiman, lahan terbangun	Sedang	3
		Lahan kering, tegalan	Tinggi	4
		Sawah, tubuh air	Sangat tinggi	5
6	Tekstur tanah	Pasir, pasir berlempung	Sangat rendah	1
		Lempung berpasir, lempung berpasir halus	Rendah	2
		Lempung berpasir sangat halus, lempung, lempung berdebu, debu	Sedang	3
		Lempung liat, lempung liat berpasir, lempung liat berdebu	Tinggi	4
		Liat berpasir, liat berdebu, liat	Sangat tinggi	5
7	Tinggi Genangan (cm)	<20	Sangat rendah	1
		20-30	Rendah	2
		30-40	Sedang	3
		40-50	Tinggi	4
		<50	Sangat tinggi	5
8	Lama Genangan (jam)	0 – 10	Sangat rendah	1
		11 – 20	Rendah	2
		21 – 30	Sedang	3
		31 – 40	Tinggi	4
		41 – 50	Sangat tinggi	5

Sumber: Modifikasi dari Van Zudam (1985); SK Menteri Pertanian No. 837/Kpts/Um/11/1980N, No. 83/Kpts/Um/8/1981; FAO (1990), dan Paimin dkk. (2006)

Dari Tabel 4 kemudian dibuatlah rentangan skor dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{Rentang} &= 40 - 8 = 32 \\ \text{Banyak Kelas} &= 5 \\ \text{Panjang kelas} &= \text{Rentang} / \text{€ kelas} \\ &= 32 / 5 = 6,4 \\ \text{Nilai ujung kelas interval} &= 8 \text{ (nilai terendah)}\end{aligned}$$

Dari perhitungan tersebut dihasilkan klasifikasi kelas kerentanan banjir seperti di bawah ini :

Tabel 5 Klasifikasi Kelas Kerentanan Banjir

Klasifikasi	Skor
Kerentanan sangat tinggi	40 – 33,6
Kerentanan tinggi	33,6 – 27,2
Kerentanan sedang	27,2 – 20,8
Kerentanan rendah	20,8 – 14,4
Kerentanan sangat rendah	14,4 - 8

Sumber: Hasil perhitungan 2012 yang diolah

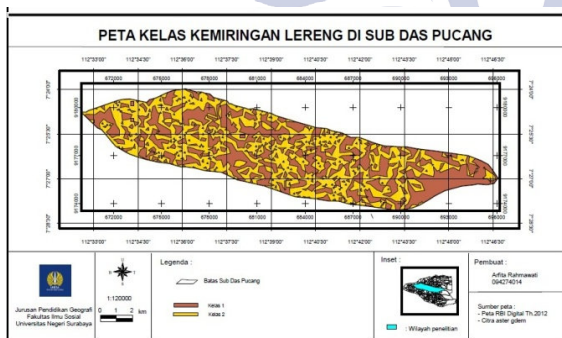
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

1. HASIL PENELITIAN

Kemiringan Lereng

Kemiringan lereng adalah perbandingan antara bidang datar dengan bidang tegak yang dinyatakan dengan persen melalui pengukuran setiap jarak diukur dengan peta kontur yang mengikuti garis lereng yang dinyatakan dengan persentase.

Kemiringan lereng di sub DAS Pucang diketahui dengan pengolahan peta kontur yang di dapat dari citra aster gdem yang kemudian diolah dengan *software global mapper*. Kemudian dilakukan pengklasifikasian kelas lereng. Selanjutnya dibuat peta dengan *software arcview 3.3* dan dihasilkan peta sebagai berikut:



Gambar 1. Peta Kelas Kemiringan Lereng di Sub DAS Pucang

Pengklasifikasian kelas kemiringan lereng menggunakan klasifikasi *Van Zuidam, 1985:30*. Sehingga dihasilkan kelas kemiringan lereng dengan luas dan persentase seperti tabel di bawah ini:

Tabel 6 Persentase Kelas Kemiringan Lereng di Sub DAS Pucang

Kelas Lereng	Luas (Ha)	Persentase (%)
Kelas 1 (0-2%)	6961,3	67
Kelas 2 (3-7%)	3428,7	33
Kelas 3 (8-13%)	0	0
Kelas 4 (14-20%)	0	0
Kelas 5 (>20%)	0	0
Jumlah	10390	100

Sumber: Hasil Analisa 2013 yang diolah

Berdasarkan tabel 6 bahwa sebesar 67% kemiringan lereng di sub das Pucang termasuk dalam kelas lereng 1, yaitu kemiringan lereng 0-2%, dengan luas 6961,3 Ha. Selain itu sisanya sebesar 55% merupakan kelas lereng 2, yaitu kemiringann lereng 3-7%, dengan luas 3428,7 Ha.

Intensitas Curah Hujan Harian

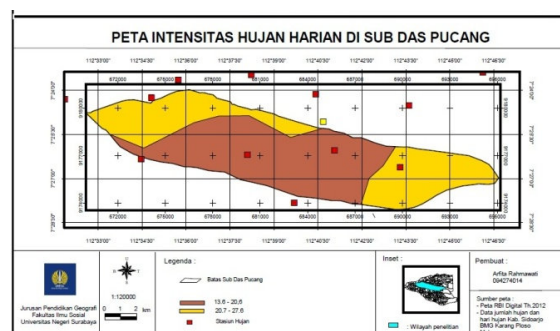
Intensitas curah hujan harian adalah besarnya jumlah hujan yang jatuh disuatu wilayah dalam waktu satu hari yang diukur dengan cara jumlah curah hujan dalam satu tahun dibagi dengan jumlah hari hujan dalam satu tahun yang selanjutnya dilakukan skoring. Jumlah pos penangkar hujan yang digunakan dalam perhitungan intensitas curah hujan harian ini berjumlah 15 pos, posisi pos-pos tersebut berada di dalam maupun di luar sub DAS Pucang. Pos penangkar hujan tersebut diantaranya : Luwung, Bakalan, Krian, Ketawang, Ponokawan, Durungbedeug, Ketintang, Kludan, Sedati, Banjarkemantren, Sidoarjo, Sumput, Klagen, Karangnongko, dan Watu Tulis.

Pertama-tama mencari data jumlah curah hujan harian dan hari hujan. Data jumlah curah hujan dan hari hujan menggunakan data sepuluh tahun terakhir. Karena banyaknya hujan yang jatuh dipengaruhi oleh durasi atau waktu hujan tersebut maka digunakan intensitas hujan 10 tahunan.

Kemudian diketahui bahwa stasiun hujan dengan intensitas hujan 10 tahunan tertinggi yaitu stasiun sumput dengan nilai intensitas hujan 248,8804572 mm/hari dengan rata-rata 24,8804572 mm/hari. Sedangkan intensitas hujan 10 tahunan terendah dicatat oleh stasiun Bakalan dengan jumlah 144,835691 mm/hari dengan nilai rata-rata 14,4835691 mm/hari.

Melalui pembagian skoring tersebut maka dibuatlah peta intensitas hujan harian dengan menggunakan metode isohyet. Untuk mengetahui posisi berbagai stasiun hujan maka dilakukan pengeplotan stasiun hujan dengan GPS dan kemudian hasilnya dimasukkan ke dalam seoftware *Arc view 3.3*. Selanjutnya dari data yang sudah diperoleh maka dibuat intensitas hujan harian dengan interpolasi dengan *software arc view* dengan menggunakan tool *spline*. Dari hasil tersebut kemudian dilakukan pengklasifikasian.

Pengklasifikasian nilai intensitas hujan ini berpacuan dari *SK Menteri Pertanian No. 837/Kpts/Um/11/1980N, No. 83/Kpts/Um/8/1981*. Dan dihasilkan peta di bawah ini :



Gambar 2. Intensitas Hujan Harian di Sub DAS Pucang

Berdasar peta tersebut diketahui bahwa pada bagian sub das pucang sebelah timur dan barat memiliki intensitas hujan harian dengan nilai 20,7 – 27,6 mm/harian. Sedangkan pada bagian tengah sub das Pucang memiliki intensitas hujan harian dengan nilai 13,6 – 20,6 mm/harian.

Kapasitas Drainase

Kapasitas drainase adalah kemampuan dari drainase untuk mengalirkan dan menampung air. Kapasitas drainase dihitung dengan menggunakan metode rasional kemudian dibandingkan dengan selisih debit banjir periode ulang 5 tahunan.

Untuk menghitung debit banjir periode ulang perlu dihitung terlebih dahulu curah hujan maksimum rencana. Sistem hidrologi kadang-kadang dipengaruhi oleh peristiwa-peristiwa yang luar biasa (ekstrem), seperti hujan lebat, genangan dan kekeringan. Tujuan analisa frekuensi dan hidrologi adalah berkaitan dengan besaran peristiwa-peristiwa ekstrem yang berkaitan dengan frekuensi kejadiannya melalui penerapan distribusi kemungkinan (Suripin, 2003:32)

Metode yang dapat dipakai dalam menganalisa curah hujan rencana antara lain distribusi Gumbel, Normal, Log Pearson III, Pearson III dan lain-lain. Untuk menentukan macam analisa frekuensi, perlu dihitung parameter-parameter statistik seperti koefisien kemencengan (Cs), koefisien ketajaman (Ck), koefisien variasi (Cv).

Dalam perhitungan curah hujan rencana didapatkan harga $C_s=2,36$ dan $C_k = 9,62$. Dengan memperhatikan parameter statistik tersebut dapat diasumsikan distribusi data tersebut sesuai dengan distribusi Log Person Type III. Untuk menentukan kecocokan (*the goodness of the fit test*) distribusi frekuensi dari sampel data terhadap fungsi distribusi peluang yang diperkirakan dapat menggambarkan distribusi frekuensi tersebut diperlukan pengujian parameter (Soewarno, 1995:194). Pengujian parameter yang akan disajikan adalah sebagai berikut :

- Chi-Kuadrat (*Chi-Square*)
- Smirnov-Kolmogorov

Selanjutnya dihitung uji chi kuadrat dan didapatkan hasil sebagai berikut Nilai uji kritis chi-kuadrat = 5% diperoleh $X^2 = 7,815$ Berdasarkan hasil perhitungan $X^2 > X^2_h = 7,815 > 6,56$, maka persamaan ini bisa digunakan. Untuk mengetahui apakah faktor dari peluang dalam bentuk tahun di chi kuadrat dapat digunakan dalam distribusi log person III maka dilakukan kembali perhitungan Nilai uji kritis chi-kuadrat dan dipatkan nilai sebagai berikut, nilai uji kritis chi kuadrat = 5% diperoleh $X^2 = 7,815$. Berdasarkan hasil perhitungan $X^2 > X^2_h = 7,815 > 0,8$, maka persamaan ini bisa digunakan.

Selanjutnya melakukan uji Kolmogorov-Smirnov, untuk mengetahui distribusinya normal atau tidak. Untuk perhitungan kolmogorov-Smirnov menggunakan program Spss 16, dan didapatkan hasil D hitung = 0,18; dengan menggunakan derajat kepercayaan 0,05 dan $n=10$. Maka dilihat pada tabel uji kolmogorov-smirnov D tabel = 0,41. D tabel > D hitung; $0,41 > 0,18$ maka persamaan dapat diterima.

Dari hasil uji yang diasumsikan diatas, maka untuk menghitung curah hujan rencana menggunakan metode Person Type III dengan menggunakan rumus (CD. Soemarto, 1986) :

$$R = \bar{R} + K \sigma R$$

Berdasarkan nilai variabel pada nilai K Distribusi Person Type III maka perhitungan hujan rencana seperti terdapat pada tabel di bawah ini :

Tabel 7 Perhitungan Distribusi Pearson Tipe III

R 2 tahun	$\bar{R} + K \sigma R$ $22,87 + (-0,34) \times 46,47$ 7,17 mm/jam
R 5 tahun	$\bar{R} + K \sigma R$ $22,87 + (0,55) \times 46,47$ 48,42 mm/jam

Sumber: Hasil Perhitungan 2013

Berdasar tabel perhitungan pearson tipe III diketahui R 2 tahunan sebesar 7,17 mm/jam dan R 5 tahunan sebesar 44,42 mm/jam. Karena sub DAS Pucang memiliki luas 10.390 ha, maka selanjutnya untuk mengetahui banjir periode ulang digunakan metode nakayasu (Suripin, 2003:241).

Rumus hidrograf satuan Nakayasu adalah :

$$Q_p = \frac{1}{6} \left(\frac{ARe}{0,3T_p + T_{0,3}} \right)$$

$$\begin{aligned} T_p &= T_g + 0,8Tr \\ t_g &= 0,4 + 0,058L && \text{untuk } L > 15 \text{ km} \\ t_g &= 0,21L^{0,7} && \text{untuk } L < 15 \text{ km} \\ T_{0,3} &= \alpha T_g \end{aligned}$$

Dimana :

- Q_p = debit puncak genangan (m^3/dtk)
- A = luas daerah aliran (km^2)
- Re = curah hujan efektif (mm)
- T_p = waktu permulaan genangan – puncak hidrograf (jam)
- $T_{0,3}$ = waktu dari puncak genangan sampai 0,3 kali debit puncak genangan (jam)
- t_g = waktu konsentrasi
- Tr = satuan waktu dari curah hujan (jam)
- L = panjang sungai utama (km)
- α = koefisien karakteristik DAS

Setelah diketahui rentangan kurva naik dan kurva turun selanjutnya menghitung intensitas hujan jam-jaman dengan rumus Monobe. Rumus Monobe sebagai berikut (Subarkah, 1980:20):

$$I = \frac{R24}{24} \times \left(\frac{24}{T} \right)^{2/3}$$

Dimana :

- I :intensitas hujan selama waktu tertentu (mm/jam)
- R_{24} :curah hujan maksimum harian dalam 24 jam (mm)
- T :waktu lama hujan (jam)

Setelah dihitung dengan rumus monobe selanjutnya debit rencana maksimum tiap periode. Nilai debit tertinggi dari hasil perhitungan debit rencana maksimum tiap periode itu merupakan debit banjir periode ulang. Maka, berdasarkan perhitungan metode hidrograf sintetik nakayasu diketahui sebagai berikut :

Tabel 8 Hidrograf Banjir Tertinggi Periode Ulang di Sub DAS Pucang

Debit banjir 2 tahunan	14,6 m ³ /jam
Debit banjir 5 tahunan	108,79 m ³ /jam

Sumber: Hasil Perhitungan 2013

Berdasarkan Dari tabel di atas diketahui debit banjir 2 tahunan sebesar 14,6 m³/jam dan debit banjir 5 tahunan sebesar 108 m³/jam. Maka selanjutnya menghitung kapasitas saluran drainase. Dalam penghitungan kapasitas saluran drainase terlebih dahulu membagi peta sub das pucang menjadi grid-grid berukuran 1,6cm x1,6cm. Untuk membagi peta sub das Pucang dalam bentuk grid digunakan software corel draw x5. Sehingga dihasilkan jumlah grid sebanyak 67.

Setelah terbagi dalam bentuk grid selanjutnya mengukur kedalaman, kemiringan, lebar atas, dan lebar bawah drainase. Untuk pengukuran lebar menggunakan meteran dan bak meter. Untuk mengukur kemiringan digunakan perbandingan antara ketinggian saluran di atas dengan bawah. Untuk mengukur kedalaman drainase digunakan metode bandul yang diberi batas pengukuran setiap 1cm. Untuk mengetahui jarak tiap daerah penelitian sama maka digunakan bantuan speedometer.

Setelah dilakukan pengukuran maka dihitung debit saluran menurut *Triatmojo, 2008* adalah :

$$A = (B + zH) H$$

$$P = B + 2H\sqrt{1 + z^2}$$

$$R = \frac{(B + zH)H}{(B + 2H\sqrt{1 + z^2})}$$

$$T = B + 2zH$$

Dimana :

A = luas penampang (m²)

P = keliling basah (m)

R = radius hidrologis (m)

B = lebar dasar saluran (m)

H = tinggi muka air (m)

z = kemiringan talud (m)

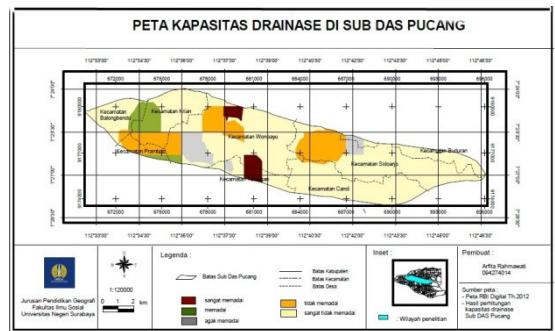
Setelah melakukan perhitungan dilapangan, kemudian dilakukan perbandingan skor kapasitas drainase dengan nilai periode ulang banjir 5 tahunan, sehingga didapatkan hasil seperti di bawah ini:

Tabel 8 Rentang Skor dan Persentase Kapasitas Drainase di Sub DAS Pucang

Rentang Skor	Keterangan	(Grid)	(%)
Kapasitas Drainase			
(-91,26) – 1726,73	Sangat tidak memadai	57	85,06
1726,73 – 3544,72	Tidak memadai	3	4,48
3544,72 – 5362,71	agak memadai	2	2,99
5362,71 – 7180,7	memadai	3	4,48
7180,7 – 9181,23	Sangat memadai	2	2,99
Jumlah		67	100

Sumber : Hasil analisis dan Perhitungan 2013

Diketahui bahwa 85,06% kapasitas drainase di sub das Pucang termasuk dalam kelas sangat tidak memadai, sedangkan yang sangat memadai hanya 2,99%. Dari hasil perhitungan kapasitas drainase tersebut maka dibuatlah peta kapasitas drainase dengan software arcview 3.3. Selanjutnya dioerlay dengan peta administrasi dan dihasilkan peta sebagai berikut :

**Gambar 3. Peta Kapasitas Drainase di Sub DAS Pucang**

Penggunaan Lahan

Malingreau (1977) dalam *Muryono (2005:6)* mengemukakan bahwa Lahan merupakan suatu daerah di permukaan bumi yang ciri-cirinya mencakup semua pengenal yang bersifat cukup mantab dan dapat diduga berdasarkan daur dari biosfer, tanah, air, populasi manusia pada masa lampau dan masa kini sepanjang berpengaruh atas penggunaan lahan pada masa kini dan masa yang akan datang. Karena itulah penggunaan lahan selalu berubah (dinamis) terutama di daerah perkotaan. Penggunaan lahan merupakan campuran tangan manusia baik secara permanen atau periodik terhadap lahan dengan tujuan untuk memenuhi kebutuhan, baik kebutuhan kebendaan, spiritual maupun gabungan keduanya (*Malingreau, 1979*).

Penggunaan lahan (*land use*) yang terjadi di permukaan bumi dan didapat dari analisis Landsat *SLC-off* yang meliputi hutan, pemukiman, sawah irigasi, sawah tadah hujan, kebun, semak, air tawar, air laut, dan tanah kosong yang kemudian dianalisis dengan program ENVI.

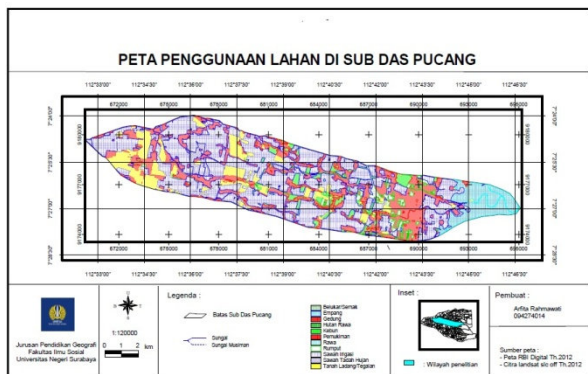
Penggunaan lahan di sub das Pucang diketahui dengan jalan mengolah citra landsat *SLC-off* yang meliputi hutan, pemukiman, sawah irigasi, sawah tadah hujan, kebun, semak, air tawar, air laut, dan tanah kosong yang kemudian dianalisis dengan program ENVI. Setelah dianalisis dengan program ENVI maka didapatkan hasil penggunaan lahan di sub das Pucang sebagai berikut :

Tabel 9 Luas dan Persentase Penggunaan Lahan di Sub DAS Pucang

Pemanfaatan Lahan	Luas (ha)	Persentase (%)
1. Pemukiman	1652	15,9
2. Air Tawar	2981	28,7
3. Sawah Irigasi	3584	34,5
4. Sawah Tadah Hujan	117,4	1,13
5. Perkebunan	595,3	5,73
6. Semak	51,2	0,05
7. Rumput	208,8	2,01
8. Tegal	717,9	6,91
9. Empang	452	5,07
Total	10390	100

Sumber: Hasil Analisa 2013 yang diolah

Dari tabel 4.22. diketahui bahwa penggunaan lahan paling besar berupa sawah irigasi dengan luas 3584 ha dengan persentase 34,5 %. Sedangkan penggunaan lahan yang paling kecil digunakan untuk semak dengan luas 51,2 ha, dimana persentasenya sebesar 4,3%.



Gambar 4. Peta Penggunaan Lahan di Sub DAS Pucang

Bentuk Lahan

Bentuk lahan adalah pengelompokan satuan lahan yang homogen dengan memiliki ciri-ciri yang khusus yang didapatkan dengan menggunakan peta geomorfologi Provinsi Jawa Timur yang kemudian dianalisis dengan program ENVI setelah itu dilakukan perhitungan prosentase luas bentuk lahan masing-masing.

Untuk mengetahui bentuk lahan di sub das Pucang digunakan peta geomorfologi Jawa Timur yang kemudian diolah oleh program arcview.

Setelah diklasifikasikan selanjutnya dihitung luasan daerahnya menggunakan *software arc view 3.3* dengan *extension x tools*. Sehingga dapat diketahui luasan bentukan lahan di daerah tersebut..

Tabel 10 Luas dan Persentase Bentuk Lahan di Sub DAS Pucang

Bentuk Lahan	Luasan (Ha)	Persentase (%)
Dataran alluvial	10390	100
Jumlah	10390	100

Sumber: Hasil Analisis 2013 yang diolah

Dari tabel 10 diketahui bahwa bentuk lahan di sub das Pucang 100% berupa daerah dataran alluvial dengan luasan 10.390 Ha. Dataran alluvial umumnya datar dan terbukti di dalam kemiringan lereng bahwa sub DAS Pucang merupakan daerah datar sehingga rawan banjir. Selain itu dengan bentuk lahan (landform) dari sistem lahan seperti dataran alluvial, lembah alluvial, kelokan sungai, dan rawa-rawa merupakan daerah yang rentan terkena banjir karena merupakan daerah rendah atau cekungan. (Paimin, 2009 :11)

Tekstur Tanah

Tekstur tanah adalah perbandingan antara banyaknya liat, lempung dan pasir yang terkandung dalam tanah yang diukur dengan menggunakan metode sedimentasi. Kemudian dari hasil sedimentasi tersebut dibuatlah perhitungan persentase liat, lempung, dan pasir yang selanjutnya digambar ke dalam segitiga tekstur.

Pengukuran tekstur tanah didapatkan dari pengambilan sample masing-masing jenis tanah. Berdasar hasil analisis citra terra aster diketahui bahwa jenis tanah di sub DAS Pucang ada 2 yaitu tanah alluvial hidromorf dan alluvial kelabu.. Dari dua jenis tanah tersebut diambil satu sampel tiap jenis tanah. Kemudian dilakukan uji tekstur tanah dengan metode

sedimentasi (E. Handayanto, 2009:38). Hasilnya sebagai berikut :

Tabel 11 Jenis Persentase Partikel Tanah di Sub DAS Pucang

Jenis Tanah	Pasir (%)	Debu (%)	Liat (%)
Alluvial Hidromorf	15,8	42,10	42,10
Alluvial Kelabu	13,7	44,73	42,10

Sumber: Hasil Penelitian 2013 yang diolah

Berdasarkan presentase masing-masing partikel, kemudian dilakukan penentuan jenis sample tanah dengan menggunakan segitiga tekstur dan didapat hasil sebagai berikut :

Tabel 12 Jenis Tekstur Tanah di Sub DAS Pucang

Jenis Tanah	Tekstur
Alluvial hidromorf	Silty clay
Alluvial kelabu	Silty clay

Sumber: Hasil Penelitian 2013 yang diolah

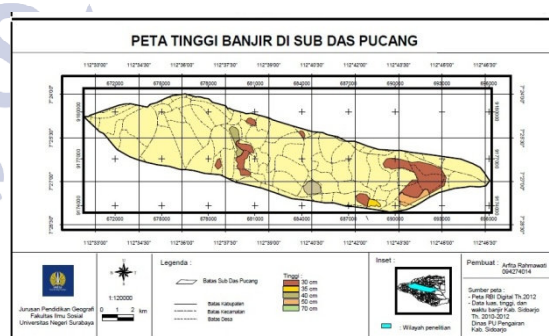
Berdasarkan tabel 12 diketahui bahwa tekstur tanah yang ada di sub das Pucang seluruhnya adalah silty clay. Dengan tekstur silty clay ini tekstur tanah di Sub DAS Pucang memiliki laju infiltrasi yang rendah dengan nilai infiltrasi menurut *van Genuchten et al.* (1991) dalam *Z. Wang (1997)* bernilai sebesar 0,083. Semakin rendah laju infiltrasi maka semakin lama waktu air untuk menggenang.

Realita Banjir

Tinggi Genangan

Tinggi genangan yaitu ketinggian air saat banjir banjir yang terjadi di suatu wilayah yang dinyatakan dengan satuan cm (*centimeter*).

Berdasar tabel 3 diketahui bahwa ketinggian banjir tertinggi di Sub DAS Pucang sebesar 70 cm yang berada di Desa Lebo.



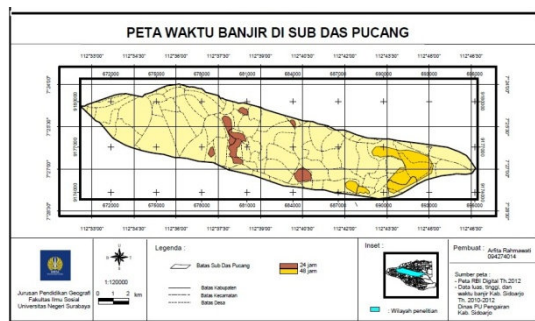
Gambar 5. Peta Ketinggian Banjir di Sub DAS Pucang

Waktu Banjir

Waktu banjir yaitu waktu terjadinya banjir sampai banjir tersebut kembali surut. Dalam pengukurannya menggunakan satuan jam.

Dari tabel 3 diketahui waktu genangan banjir paling lama 48 jam yang berada di Desa Sidokare, Lebo, Sepande, Sekardangan, Bulu Sidokare, Bluru, dan Pucang, sebaliknya waktu banjir yang paling cepat selama 24 jam yang berada Desa Kemiri, Rangkah,

Popoh, Simoangin-angin, Pagerngumbuk, Mulyodadi, Wonoayu, Karangpuri, dan Wilayat.



Gambar 6. Peta Waktu Banjir di Sub DAS Pucang

Luas Genangan

Luas genangan yaitu luasan dalam suatu wilayah yang terkena genangan dinyatakan dalam hektar (ha). Berdasarkan tabel 3 diketahui luas genangan paling besar terjadi di Desa Rangkah dengan luas 203 ha.

Kerentanan Banjir

Kerentanan banjir adalah tingkat kemampuan suatu sistem terkena banjir yang diukur dari hasil skoring dari overlay peta kemiringan lereng, intensitas curah hujan harian, drainase, bentuk lahan, penggunaan lahan, tekstur tanah, tinggi genangan, dan waktu genangan. Skoring tingkat kerentanan banjir menggunakan interval dari hasil rentang skor tertinggi dibagi dengan skor terendah kemudian dibagi dengan jumlah kelas tingkat kerentanan banjir. Kelas tingkat kerentanan banjir terbagi menjadi 5 kelas, yaitu : kerentanan sangat rendah, kerentanan rendah, kerentanan sedang, kerentanan tinggi, dan kerentanan sangat tinggi.

Untuk mengetahui apa saja tingkat kerentanan banjir yang terjadi di Sub DAS Pucang. Digunakan teknik analisis data yaitu analisis tumpang susun atau overlay. Analisis overlay dilakukan dengan *software arc view 3.3* dengan *ekstension union*. Aspek yang dioverlay yaitu : kemiringan lereng, intensitas curah hujan, drainase, penggunaan lahan, bentuk lahan, tekstur tanah, lama genangan banjir, dan tinggi genangan banjir.

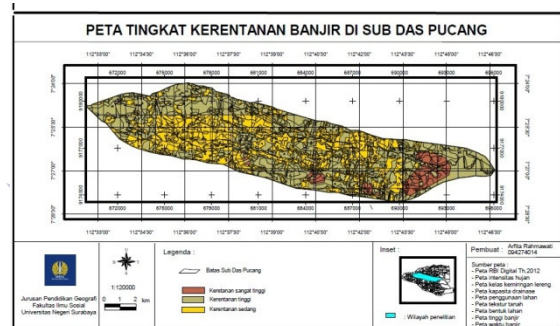
Di bawah ini adalah peta-peta yang akan di overlay:

1. Peta kelas kemiringan lereng;
2. Peta intensitas curah hujan harian;
3. Peta kapasitas drainase;
4. Peta penggunaan lahan;
5. Peta bentuk lahan;
6. Peta tekstur tanah;
7. Peta lama genangan banjir; dan
8. Peta tinggi genangan banjir.

Setelah di overlay, selanjutnya dilakukan scoring sesuai tabel 4 selanjutnya ditumpang susunkan dengan peta administrasi dan didapatkan hasil bahwa kerentanan sangat tinggi sebagian besar berada pada Kecamatan Sidoarjo.

Wajar saja bila kerentanan sangat tinggi sebagian besar berada pada Kecamatan Sidoarjo karena berdasar kemiringan lereng Kecamatan Sidoarjo berada pada lereng kelas 1 dan 2, hal ini menyatakan bahwa daerah tersebut termasuk datar.

Dari intensitas curah hujan memiliki nilai 20,7-27,6 mm/hari. Bahkan kapasitas drainase di Kecamatan Sidoarjo sebesar 69% masuk dalam kategori sangat tidak memadai. Berdasar penggunaan lahan di Kecamatan Sidoarjo sebagian besar berupa tambak dan pemukiman padat. Dari bentuk lahan geomorfologi berupa dataran alluvial ditambah lagi dengan tekstur tanah *silly clay clay* yang memiliki nilai infiltrasi rendah. Ditambah dengan realita banjir yang terjadi bahwa banjir di Kecamatan Sidoarjo merupakan kejadian banjir dengan luas, lama, dan tinggi genangan yang tertinggi di Sub DAS Pucang.



Gambar 7. Peta Tingkat Kerentanan di Sub DAS Pucang

Faktor yang Diduga Mempengaruhi Tingkat Kerentanan Banjir Sedang di Sub DAS Pucang

Berdasarkan perhitungan persentase faktor yang diduga sebagai penyebab dari masing-masing kelas kerentanan menggunakan perhitungan jumlah unit nilai tertinggi tiap-tiap variabel pada skoring overlay kemudian dibagi dengan jumlah unit nilai tertinggi seluruh variabel pada skoring overlay kemudian dibagi seratus persen, diketahui bahwa faktor yang diduga memiliki pengaruh paling besar terhadap tingkat kerentanan banjir sedang di sub das Pucang adalah bentuk lahan berupa dataran alluvial yang dataran alluvial (41%), dan tekstur tanah berupa *silly clay clay* (41%). Dataran alluvial umumnya datar dan terbukti di dalam kemiringan lereng bahwa sub DAS Pucang merupakan daerah datar sehingga rawan banjir. Selain itu dengan bentuk lahan (*landform*) dari sistem lahan seperti dataran alluvial, lembah alluvial, kelokan sungai, dan rawa-rawa merupakan daerah yang rentan terkena banjir karena merupakan daerah rendah atau cekungan. (Paimin, 2009 :11). Dengan tekstur silty clay ini tekstur tanah di Sub DAS Pucang memiliki laju infiltrasi yang rendah dengan nilai infiltrasi menurut van Genuchten et al. (1991) dalam Z. Wang (1997) bernilai sebesar 0,083. Semakin rendah laju infiltrasi maka semakin lama waktu air untuk menggenang

Faktor yang Diduga Mempengaruhi Tingkat Kerentanan Banjir Tinggi di Sub DAS Pucang

Berdasarkan perhitungan persentase faktor yang diduga sebagai penyebab dari masing-masing kelas kerentanan diketahui bahwa faktor yang diduga memiliki pengaruh paling besar terhadap tingkat kerentanan banjir tinggi di sub das Pucang adalah bentuk lahan yang berupa dataran alluvial (34,78%), dan tekstur tanah yang berupa *silly clay clay* (34,78%).

Persentase Faktor yang Diduga Mempengaruhi Tingkat Kerentanan Banjir Sangat Tinggi di Sub DAS Pucang

Berdasarkan perhitungan persentase faktor yang diduga sebagai penyebab dari masing-masing kelas kerentanan diketahui bahwa faktor yang diduga memiliki pengaruh paling besar terhadap tingkat kerentanan banjir sangat tinggi di sub das Pucang adalah bentuk lahan yang berupa dataran alluvial (16,66%), kapasitas drainase yang termasuk dalam kapasitas sangat tidak memadai (16,66%), dan tekstur tanah berupa *silly clay-clay* (16,66%). Dengan bentuk lahan (*landform*) dari sistem lahan seperti dataran alluvial, lembah alluvial, kelokan sungai, dan rawa-rawa merupakan daerah yang rentan terkena banjir karena merupakan daerah rendah atau cekungan. (Paimin, 2009 :11). Kapasitas drainase yang tidak memadai menyebabkan terjadinya overflow sehingga saluran drainase tidak mampu menjalankan fungsinya dengan baik. Tekstur *silty clay-clay* memiliki laju infiltrasi yang rendah dengan nilai infiltrasi menurut van Genuchten et al. (1991) dalam Z. Wang (1997) bernilai sebesar 0,083. Semakin rendah laju infiltrasi maka semakin lama waktu air untuk menggenang

2. PEMBAHASAN

Persentase Luas Berdasar Tingkat Kerentanan Banjir di Sub DAS Pucang

Sub DAS Pucang merupakan sub das yang merupakan jalur vital bagi kehidupan di Kabupaten Sidoarjo karena di sub DAS Pucang terdapat pusat pemerintahan Kabupaten Sidoarjo. Bahkan pemerintah tiap tahunnya tidak mengeluarkan biaya yang sedikit untuk perbaikan drainase di sub DAS Pucang (Jawa Pos, 19 Agustus 2013). Walaupun sudah mengeluarkan biaya yang sedemikian besar namun banjir masih saja terjadi. Kerentanan banjir merupakan salah satu analisis untuk mengetahui bahaya (dalam hal ini banjir) akan terjadi pada kondisi yang rentan.

Sehingga berdasar hasil overlay peta yang menghasilkan tingkat kerentanan banjir di sub DAS Pucang dihasilkan persentase tingkat kerentanan banjir.

Tabel 13 Persentase Luas Skoring Kelas Kerentanan Banjir di Sub DAS Pucang

Tingkat Kerentanan	Luasan (Ha)	Persentase (%)
Kerentanan sedang	3800,69	36,63
Kerentanan tinggi	5906,71	56,8
Kerentanan sangat tinggi	682,6	6,57
Jumlah	10390	100

Sumber: Hasil analisis dan perhitungan 2013

Berdasar tabel di atas diketahui bahwa tingkat kerentanan sedang sebesar 36,63% dengan luasan 3800,69 ha, tingkat kerentanan tinggi sebesar 56,8% dengan luasan 5906,71 ha, dan tingkat kerentanan sangat tinggi sebesar 6,57% dengan luas 682,6 ha.

Simpulan

Dari kedelapan variabel yang telah ditentukan yaitu kemiringan lereng, intensitas hujan harian, kapasitas drainase, bentuk lahan, penggunaan lahan, tekstur tanah, tinggi genangan, dan lama genangan banjir didapatkan masing-masing dibuat peta kemudian di overlay hingga menghasilkan persentase tingkat kerentanan sedang, tinggi dan sangat tinggi, dimana; tingkat kerentanan sedang sebesar 36,63% dengan luasan 3800,69 ha, tingkat kerentanan tinggi sebesar 56,8% dengan luasan 5906,71 ha, dan tingkat kerentanan sangat tinggi sebesar 6,57% dengan luas 682,6 ha. Artinya tingkat kerentanan banjir di sub DAS Pucang tinggi. Dengan tingkat kerentanan banjir yang tinggi tersebut tentunya menjadi perhatian pemerintah dan masyarakat dalam mengatasi banjir yang terjadi di sub DAS Pucang.

Saran

Berdasar tingginya persentase tingkat kerentanan banjir tinggi (56,8%) maka diperlukan suatu kebijakan yang bijak dari pemerintah setempat, terutama dalam hal penanggulangan banjir termasuk dalam peningkatan kapasitas drainase seperti penambahan kapasitas volume drainase agar dapat mengatasi banjir yang terjadi di sub DAS Pucang.

DAFTAR PUSTAKA

- Boy, Slamet. (2013). "Kuncurkan Dana 11 M untuk Perbaikan Plengsengan". *Jawa Pos*, 19 Agustus 2013.
- Dinas Pekerjaan Umum Pengairan Kabupaten Sidoarjo. (2012). *Data Luas Banjir Kabupaten Sidoarjo Tahun 2010-2012*. Dinas PU Pengairan Kab. Sidoarjo.
- FAO. (1985). *Irrigation Water Management: Introduction to irrigation*. Issn. 1020-4261. FAO.
- Handayanto, E. dkk. (2009). *Dasar Ilmu Tanah*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Handayani, Yohanna Lilis. dkk. (2007). *Pemilihan Metode Intensitas Hujan yang Sesuai dengan Karakteristik Stasiun Pekanbaru*. Pekanbaru: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Riau.
- Kasiram Prof, Drs. MSc. (2008). *Metodologi Penelitian Kualitatif dan Kuantitatif*, Malang: UIN Press.
- Kementrian Pertanian. (1980). *SK Menteri Pertanian No. 837/Kpts/Um/11/1980*.
- Kementrian Pertanian. (1981). *SK Menteri Pertanian No. 83/Kpts/Um/8/1981*.
- Langhinrichsen-Rohling, J., Dooley, H., & Langhinrichs, R. (2005). *Dating*. In N. Salkind (Ed.), *Encyclopedia of human development*. (hal. 335). Thousand Oaks, CA: SAGE Publications, Inc.
- Paimin, dkk. (2009). *Teknik Mitigasi Bencana Banjir dan Tanah Longsor*. Balikpapan : Tropenbos International Indonesia Programme.
- Soemarto, C.D. (1987). *Hidrologi Teknik*, Surabaya : Usaha Nasional.

- Soewarno. (1995). *Hidrologi Aplikasi Metode statistik untuk analisa data Jilid I*, Bandung : Nova.
- Sugiyono. (2007). *Statistika untuk Penelitian*. Bandung: CV Alfabeta.
- Suripin Dr, Ir. MEg. (2004). *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*, Yogyakarta : Penerbit Andi.
- Tika, Moh. Pabundu. (2005). *Metode Penelitian Geografi*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Triatmojo, Bambang. (2008). *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Van Zuidam, R.A, dan F.I. van Zuidam, Concelado. (1979). *A Geomorphological Approach. Use of aerial detection in geomorphology and geographical landscape analysis. Terrain analysis and classification using aerial photographs*. Netherlands: International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences.
- Wang, Z., Feyen, J., Nielsen, D. and van Genuchten, M. Th. (1997). *Two-phase flow infiltration equations accounting for air entrapment effects*. *Water Resources Research*. 12: 2759-2767

